

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до практичних занять

з курсу «Гідрологія»
для студентів спеціальності
101.01 «Техніка захисту навколишнього середовища»
всіх форм навчання

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 30.01.2018 р.

Харків
НТУ «ХП»
2018

Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Гідрологія» за темами: визначення швидкості руху води в річках, рівномірний рух води в каналах та інших водних об'єктах / Укл. Т.С. Тихомирова – Харків : НТУ «ХПІ», 2018 р. – 28 с.

Укладач: Т.С. Тихомирова

Рецензент: проф. Ведь В.Є.

Кафедра хімічної техніки та промислової екології

ВСТУП

Дані методичні вказівки призначені для виконання практичних робіт з курсу «Гідрологія» для студентів, що вивчають дану дисципліну впродовж 1 семестру тривалістю 3 кредити (90 годин) та є студентами спеціальності 101 «Екологія».

Визначення швидкості руху води в водних об'єктах можливо двома шляхами: 1) натурний експеримент за допомогою приладів 2) обробка існуючих експериментальних даних. Швидкість руху води є основною необхідною величиною для складання водних балансів об'єктів, адже вона входить до формули для обчислення витрати води в водному об'єкті. У практичній роботі, присвяченій визначенню швидкості руху води та пов'язаних з нею інших характеристик водного об'єкту студенти отримують навички роботи з «таблицями спостереження за водним об'єктом», «тарувальними таблицями млинка», розраховувати аналітичним способом витрату води, виміряну млинком.

Важливим для прогнозування наслідків водозабору та водовідведення від різноманітних водних об'єктів води для господарських чи промислових об'єктів є розрахунок ймовірності замулення чи розмивання об'єкту. Для такого прогнозування необхідно виконати ряд розрахунків. При виконанні цих розрахунків студенти отримують навички у визначенні форми каналу водного об'єкту, навички у визначенні коефіцієнта Шезі та використання формули Павловського.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

Аналітичні способи визначення витрати води у водних об'єктах

Мета: ознайомитися з гідрометричним, гідравлічним та об'ємним способами витрати води; ознайомитися з приладами для визначення витрати води та інших характеристик водних об'єктів; аналітично розрахувати витрату води, виміряну млинком та поверхневими поплавками.

1.1. Загальні положення

При вивченні наслідків антропогенного втрачання у функціонування будь-яких гідрологічних систем та впливу на них промислового чи сільськогосподарського комплексу необхідним є прогнозування зміни водного балансу об'єкта після початку втручання в його природній рух. Для цього на першому етапі необхідно визначити середньорічну витрату, а також максимальну і мінімальну витрати та об'єм згону за певний необхідний період часу при відсутності втручання людини та після нього. Для розрахунків та прогнозування загальноприйнятим є використання величини витрати води при експлуатації водогосподарчих об'єктів, а також при плануванні будівництва зрошувальних чи осушувальних каналів [1–5].

Витрати води (Q , м³/с) – це кількість води, яка протікає за одиницю часу в певному місці чи у водотоці в цілому.

Витрата води є однією з основних характеристик річки, що визначає інші її елементи – рівень води, швидкість течії, похил водної поверхні, кількість наносів тощо. Вона є однією із основних характеристик гідрологічного режиму водостоку, з нею пов'язані рівень води, швидкість течії, похил водної поверхні тощо. Її можна встановити за залежністю від рівня води або безпосереднім вимірюванням.

Існуючі методи визначення витрати води можна розділити на дві групи: безпосереднє вимірювання і опосередковане визначення. До першої групи належить так званий об'ємний метод, за якого витрата вимірюється за допомогою мірних посудин з фіксацією часу їхнього наповнення.

Визначається витрата води гідрометричним, гідравлічним і об'ємним способами [3, 5].

Гідрометричний спосіб – при ньому вимірюється площа живого перерізу і швидкість течії, він ще називається спосіб «швидкість-площа». Швидкість при ньому вимірюється гідрометричною вертушкою або поплавками.

Гідравлічний спосіб – полягає у визначенні витрати за допомогою гідравліки за похилом водної поверхні, площею живого перерізу за іншими елементами потоку.

Об’ємний спосіб – застосовують для вимірювання витрат води малих водотоків (струмів, джерел) а також для таруванні малих потоків і водозливів. У місті вимірювання витрати потік перегороджують вертикальною стіною з лотоком або трубою, через які вода надходить у мірну посуду (або басейн).

Залежно від величини потоку об’ємний спосіб може застосовуватись у двох варіантах:

- 1) вимірювання часу заповнення мірної посудини;
- 2) визначення приросту рівня у мірному басейні.

Перший варіант застосовується при малих витратах, до 5 л/с. У цьому випадку витрати потоку Q визначають як відношення мірної посудини W до тривалості часу t його заповнення

$$Q = \frac{W}{t} \quad (1)$$

Як мірний посуд використовують мензурки, колби, кухлі, відра, баки. Для одержання досить точних результатів вимірювання необхідно, щоб час заповнення мірної посудини був не менш ніж 40 с.

Другий варіант об’ємного способу застосовується при витратах води до 20 л/с. У цьому випадку води потоку відводять у мірний басейн (об’ємом 1–2 м³), який заздалегідь протаровано при різних рівнях води, виміряних гачковою або голчастою рейками. За даним приросту рівня води в басейні ΔH за час t визначають витрати води.

Можна визначити не об’єм води, що надійшла у мірний посуд за певний час, а її масу. Тоді витрати обчислюють як відношення маси цієї води до тривалості часу, протягом якого вона назбиралася в посудині. Такий спосіб вимірювання називають ваговим. При застосуванні його нема потреби в таруванні мірного посуду.

Вимірювання витрат води гідрометричними млинками ведеться в гідрометричному створі, який представляє собою закріплений на місцевості поперечник через річку, перпендикулярний до середнього напрямку течії потоку. На місцевості він закріплюється міцними стовпами – реперами або кілками. Безпосередньо створ закріплюється різними способами, залежно від тривалості вимірювань та ширини річки (підвісною люлькою, перекидним містком або тросами чи мотузкою). Звичайно, найпростішим способом є закріплення створу тросом. На ньому пронумерованими марками намічаються швидкісні вертикалі, по них і ведеться вимірювання швидкостей течії води. Площа живого перерізу визначається за даними промірів глибин, а швидкості вимірюються гідрометричними млинками в 5, або 10 точках на кожній швидкісній вертикалі [1–5].

При вимірюванні швидкості в точці «біля поверхні» млинок занурюється на глибину 0,15 м.

Вимірювання витрат води поплавками здійснюється за спеціальною методикою, за якою поперек річки намічаються три створи (верхній, середній і нижній), потім на поверхню запускається декілька поплавків і фіксується час їх проходження між верхнім і нижнім створами.

1.2 Приклад розрахунку аналітичним способом витрати води, виміряної млинком

Вихідні дані:

1) виписка з «Книжки для запису вимірювання витрати води» на річці (табл. 1.1 та 1.2)

2) виписка з тарувальної таблиці млинка (табл. 1.3; 2) млинок типу ГР-55, контакт через 20 обертів; тарування № 27 від 16 вересня 2010 р.;

3) рівень води на водомірному посту при вимірюванні глибин і швидкостей течії не змінювався і становив 91 см над нулем графіка.

Знайти:

- 1) площі водного перерізу;
- 2) швидкості в точках вимірювання і середні значення їх на вертикалях і між вертикалями;
- 3) витрату води, виміряну основним способом.

Таблиця 1.1 – Дані спостереження за витратою води у річці

№ вертикалі	Відстань від постійного початку, м		Глибина, м	Відстань між вертикалями, м				Площа водного перерізу, м ²	Середня швидкість	Витрати між вертикалями, м ³ /с
	промірної	швидкісної		між вертикалями	між промірними вертикалями	між швидкісними вертикалями	на швидкісній вертикалі			
Узріз лівого берега	3,4	4	0,0	2,0	10,0	38,9	0,0		0,32	12,3
			7,55	5,78	28,9	77,2	0,46		0,5	38,6
			7,79	7,67	38,4	10,6	0,54		0,24	2,54
			7,74	7,77	38,8		0,34			
			4,2	2,11	10,6					

Таблиця 1.2 – Дані спостереження

№ вертикалі	Робоча глибина, м	Глибина опускання млинка	Номер останнього сигналу	Сума обертів	Тривалість вимірювання, с	Кількість обертів за 1с	Швидкість у точці, м/с	Середня швидкість на вертикалі, м/с
1	7,55	0,2 h						0,46
0,8 h	6,08		1,52	15	3,15	0,42	3,8	0,5

Таблиця 1.3 – Тарувальна таблиця млинка

Кількість обертів за 1 с (до десятих долей)	Швидкість течії м/с	Значення кількості обертів до сотих долей одиниці					
		0,02	–	0,07	0,08	0,09	–
0,00	0,01	0,041	0,042		0,047	0,048	0,049
0,00	0,04	0,51	0,052		0,057	0,058	0,059
0,1	0,05	0,61	0,062		0,067	0,068	0,069
0,2	0,06	0,502	0,504		0,514	0,516	0,518
3,8	0,50	0,522	0,524		0,534	0,536	0,538
3,9	0,52	0,541	0,542		0,547	0,549	0,549
4,0	0,54						

Рішення

1. За даними табл. 1.1 (графа 1–7) обчислюємо площу водного перерізу річки. Площу між берегом і першою та останньою промірними вертикалями визначаємо як площу трикутника, а між всіма іншими вертикалями – як площу трапеції. Для цього використовуємо наступні залежності (рис. 1.1 та рис 1.2):

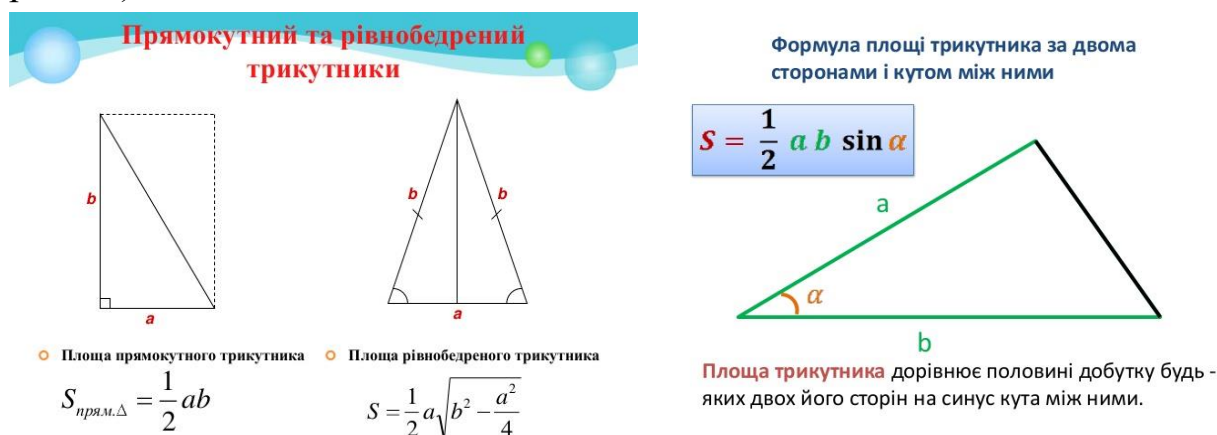


Рисунок 1.1 – Формули для обчислення площі різноманітних трикутників

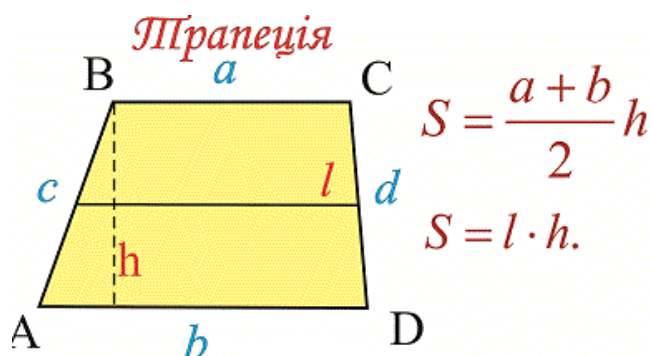


Рисунок 1.2 – Формули для обчислення площі трапеції

Площа між швидкісними вертикалями дорівнює сумі відповідних площ між промірними вертикалями. Наприклад, на ділянці від зрізу лівого берега до швидкісної вертикалі № 1 (графа 7) площа $S_1 = 10,0 + 28,9 = 38,9 \text{ м}^2$ (записуємо її у графу 7). Загальну площу живого перерізу визначаємо підсумуванням даних графи 8. У нашому прикладі вона дорівнює 535 м^2 .

2. На кожній швидкісній вертикалі швидкість вимірювалась у двох точках (0,2 і 0,8 робочої глибини). При обчисленні у кожній точці спочатку

визначалась загальна кількість обертів лопатевого гвинта і число обертів за 1 с. Так, на вертикалі № 1 (табл. 1.2) у точці $0,2h$ протягом 105 с було зареєстровано 20 сигналів вертушки кожен з яких надходить через 20 обертів. Тоді загальна кількість обертів $N = 20 \cdot 20 = 400$, а число обертів за 1с $n = 400/105 = 3,80$ об/с. За тарувальною табл. 1.3 визначаємо швидкість течії у цій точці, яка дорівнює 0,50 м/с.

Оскільки вимірювання швидкості проводилося на глибині $0,2h$; $0,8h$ в двох точках на кожній вертикалі, то середню швидкість на них визначаємо за формулою (4)

$$V_{\text{сеп}} = 0,5(U_{0,2} + U_{0,8}) \quad (4)$$

де $U_{0,2}$ і $U_{0,8}$ – місцеві швидкості на глибинах $0,2h$; $0,8h$.

При іншій кількості точок вимірювання швидкостей на швидкісних вертикалях для знаходження середньої швидкості на них застосовують інші формули, які наводяться в літературних джерелах з гідрометрії.

Середні значення швидкостей між вертикалями (табл. 1.1, графа 9) визначаємо як середнє арифметичне із швидкостей на швидкісних вертикалях. Середні швидкості між берегом і першою або останньою вертикаллю обчислюють як добуток середніх швидкостей на цих вертикалях на емпіричний коефіцієнт K , величина якого у нашому прикладі дорівнює 0,7.

3. Часткові витрати води між швидкісними вертикалями і для урізних ділянок (табл. 1.1, графа 10) отримуємо множенням середніх швидкостей на відповідні площі живого перерізу. Загальну витрату обчислюємо як суму часткових витрат. У нашому прикладі вона дорівнює $2765 \text{ м}^3/\text{с}$.

1.3 Приклад розрахунку аналітичним способом витрати води, виміряну поверхневими поплавками

Вихідні дані

1) відомості (журнал) вимірювань до визначення витрати води за допомогою поплавків на річці від 10 .07.2007 (табл.1.4 та 1.5), рис.1.1;

2) Місце проходження поплавків через середній створ, що визначалось за допомогою теодоліта; відстань між верхнім і нижнім створами 100 м;

3) рівень води на водомірному посту при вимірюванні глибин і поверхневих швидкостей течії не змінювався і становив 88 см над нулем графіку.

Знайти:

для зазначеного створу на річці

- 1) побудувати епюру розподілу тривалості ходу поплавків;
- 2) обробити дані примірних робіт;
- 3) намітити швидкісні вертикалі й обчислити фіктивну витрату води;
- 4) обчислити дійсну витрату води.

Таблиця 1.4 – Дані про вимірювання швидкостей води поверхневими поплавками.

№ поплавка	Місце проходження поплавка через середній створ (кут між магістраллю і напрямком на поплавок)	Тривалість ходу поплавка між верхнім і нижнім створами, с	Швидкість руху поплавка, м/м
1	81°10'		0,50
2	80°30'		0,52
3	82°00'		0,50
4	78°40'		0,56
5	70°00'		0,39

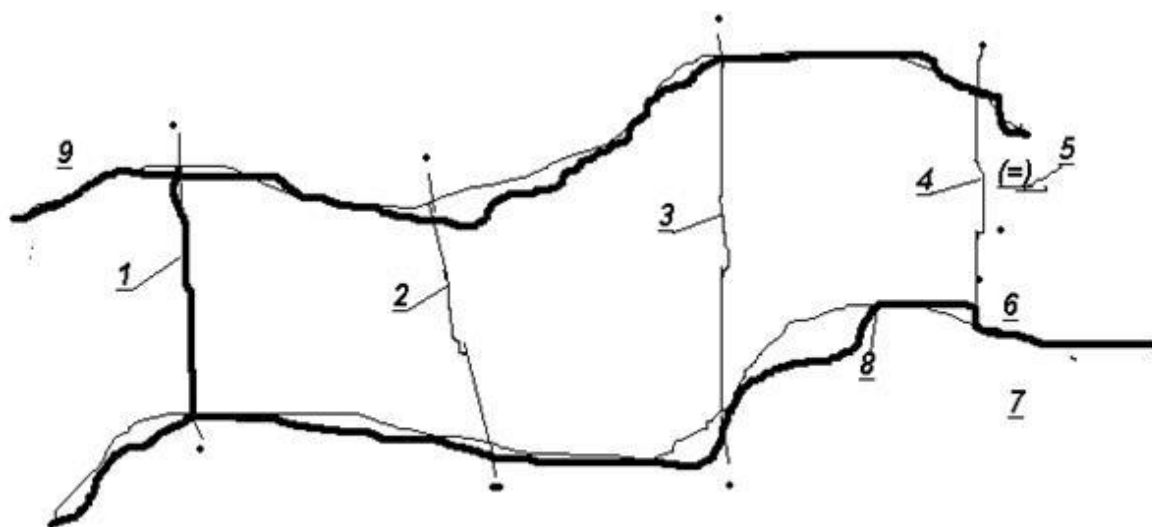


Рисунок 1.1 – Схема розташування створів для вимірювання швидкості води поплавками:

1, 2, 3, 4 – відповідно нижній, середній, верхній та пусковий створи; 5 – човен;
6 – поплавки; 7 – віха; 8 – лівий берег; 9 – правий берег річки

1. За даними табл. 1.4 креслимо епюру розподілу тривалості ходу поплавків по ширині річки у середньому створі (рис. 1.2).

2. В таблиці 1.5 записуємо дані проміжних робіт у середньому створі і у графах 1–6 обчислюємо площу водного перерізу між промірними вертикалями.

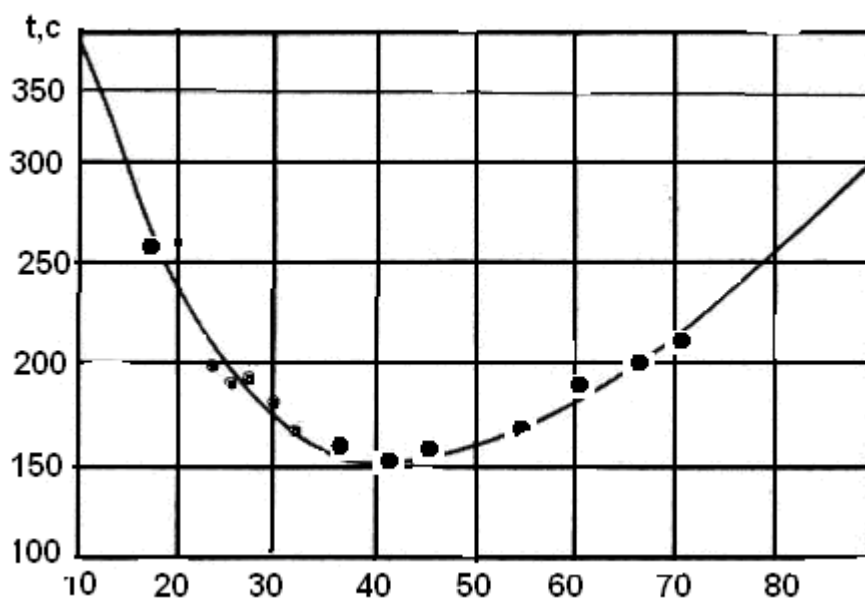


Рисунок 1.2 – Епюра розподілу тривалості ходу поплавків по ширині русла

3. На епюрі (рис. 1.2) через рівні відстані, за винятком останньої, намічаємо 8 швидкісних вертикалей, суміщаючи їх з промірними вертикалями. З епюри для кожної швидкісної вертикалі знімаємо тривалість ходу поплавка і записуємо її у графу 7 табл. 1.4. Поверхневу швидкість на швидкісній вертикалі (табл. 1.4, графа 8) обчислюємо як частку від ділення відстані між верхнім і нижнім створами, яка у нашому випадку дорівнює 100 м, на тривалість ходу поплавка. Визначаємо середні поверхневі швидкості між швидкісними вертикалями (графа 9) і площі водного перерізу між цими ж вертикалями (графа 10). Середні поверхневі швидкості між берегом і першою або останньою вертикалями обчислюємо як добуток швидкостей на цих вертикалях на емпіричний коефіцієнт 0,7.

Часткові фіктивні витрати між швидкісними вертикалями і для урізних ділянок (графа 11) визначаємо як добуток середніх поверхневих швидкостей (графа 9) на відповідні площі водного перерізу (графа 10).

Загальна фіктивна витрата Q_f дорівнює сумі часткових витрат і у нашому прикладі становить $268 \text{ м}^3/\text{с}$. Площа водного перерізу $\omega = 508 \text{ м}^2$, середня глибина $h_{\text{сер}} = 508/76,2 = 6,7 \text{ м}$.

4. Щоб мати дійсну витрату Q , потрібно фіктивну витрату помножити на перехідний коефіцієнт K_1 , величина якого вираховується за спеціальною формулою і для наших умов дорівнює $0,86$. Тоді $Q = 268 \cdot 0,86 = 230 \text{ м}^3/\text{с}$.

1.4. Завдання для виконання

Використовуючі дані таблиці 1.5 та дані табл. 1.1, 1.3 знайти

- 1) площу водного перерізу;
- 2) швидкості в точках вимірювання і середні значення їх на вертикалях і між вертикалями;
- 3) витрату води, виміряну основним способом.

Таблиця 1.5 – Дані спостереження

№ вертикалі	Робоча глибина, м	Глибина опускання млинка	Номер останнього сигналу	Сума обертів	Тривалість вимірювання, с	Кількість обертів за 1с	Швидкість у точці, м/с	Середня швидкість на вертикалі, м/с
1	14,2	0,5h						0,51
0,6 h			2,35	12	5,15	0,51	4,2	0,49

1.5. Контрольні запитання

1. Що таке витрата води в гідрологічному об'єкті?
2. Які способи існують для вимірювання витрат води в річці?
3. Які прилади використовують для вимірювання витрат води?
4. Що таке тарувальні таблиці і коли їх використовують?

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

Визначення захищеності русла водних об'єктів від замулюваності

Мета: отримати навички визначення схильності до замулюваності різних за геометричною формою русел гідрологічних об'єктів

2.1. Визначення елементів живого перерізу потоку і допустимих середніх швидкостей течії

У руслах трапецеїдального поперечного перерізу при однаковій крутизні відкосів площа живого перерізу дорівнює [1–5]

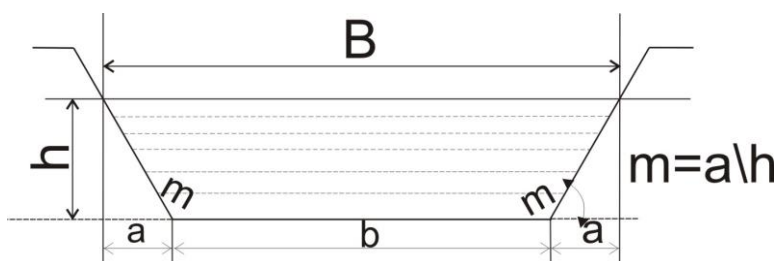


Рисунок 2.1 – Схема для трапецеїдального русла

$$\omega = (b + mh)h, \quad (2.1)$$

змочений периметр

$$X = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \quad (2.2)$$

ширина русла по вільній поверхні рідини

$$B = b + 2mh, \quad (2.3)$$

де b – ширина русла по дну; m – коефіцієнт закладення відкосів

$$(m = \text{ctg}\beta),$$

h – глибина течії у даному перерізі.

При різній крутизні відкосів (рис. 2.2) площа живого перерізу

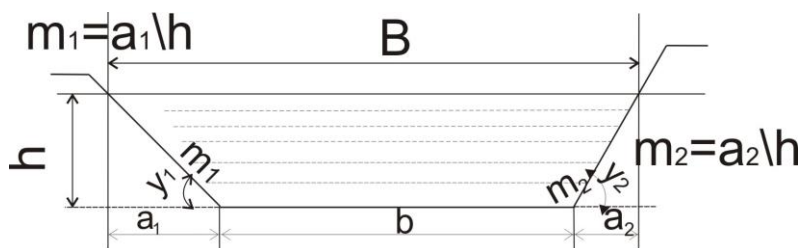


Рисунок 2.2 – Схема для відкосів з різниці кутами

$$\omega = (b + m_{\text{ep}} h) h, \quad (2.4)$$

$$m_{\text{ep}} = \frac{m_1 + m_2}{2}, \quad (2.5)$$

змочений периметр

$$X = b + h(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}). \quad (2.6)$$

Ширина русла по вільній поверхні рідини

$$B = b + 2m_{\text{ep}} h. \quad (2.7)$$

При визначенні геометричних елементів русел прямокутного і трикутного поперечного перерізу (рисунки 2.3) використовують ті ж залежності, що і для русел трапецієподібного поперечного перерізу, маючи на увазі що $m = 0$ (для прямокутного), або $b = 0$ (для трикутного).

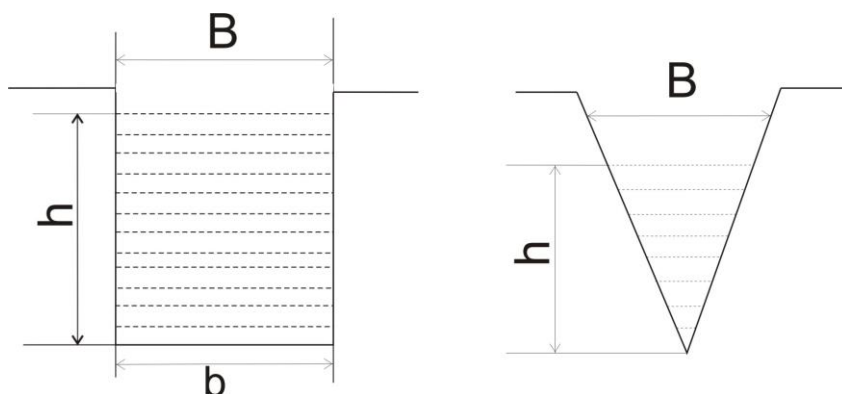


Рисунок 2.3 – Схема для прямокутного та трикутного типу русла

Для русел криволінійного поперечного перерізу безпосереднє визначення елементів живого перерізу течії дуже складне. Для типових перерізів, таких як коло, коритоподібне, овоїдальне та інші складають допоміжні таблиці. У цих таблицях залежно від відносної глибини наповнення $\Delta = \frac{h}{z}$ подаються:

- відносна площа живого перерізу

$$\omega_1 = \frac{\omega}{z^2},$$

- відносний змочений периметр

$$x^1 = \frac{x}{z},$$

- відносна ширина русла по вільній поверхні рідини

$$B^1 = \frac{B}{z},$$

- відносний гідравлічний радіус

$$R^1 = \frac{R}{z}.$$

Гідравлічний радіус і середня в перерізі швидкість для русел будь-якого поперечного перерізу

$$R = \frac{\omega}{X}, V = \frac{Q}{\omega}. \quad (2.8), (2.9)$$

Допустимі нерозмиваючі середні в перерізі швидкості протікання води $V_{\text{доп}}$ залежить від характеру ґрунту або типу укріплення русла і глибини водотоку [1–5]. Якщо на початку розрахунку глибина потоку невідома, приймають значення $V_{\text{доп}} 0,4$ м/с.

Допустимі незамулюючі середні в перерізі швидкості протікання води V_{min} залежать від кількості завислих речовин, їх розмірів, витрати і глибини течії. Для визначення цих швидкостей існує ряд залежностей і таблиць. Деякі з них наведені в додатках [1–5]. Якщо насиченість течії насосами з діаметром часток, більшим за 0,25 мм не перевищують 0,01 % за вагою, то

$$V_{\text{min}} = A Q \sqrt{R}, \quad (2.10)$$

де R дано в метрах, а значення множника наведені в [1].

Допустимі незамулюючі швидкості можна визначати за залежністю А.С. Гіршкана:

$$V_{\text{min}} = A Q^{0.2}, \quad (2.11)$$

де Q – витрат, а м³/с; A – коефіцієнт, який залежить від гідравлічної крупності наносів [1].

Допустимі незамулюючі середні в перерізі швидкості V_{min} в м/с за даними В.Н. Гончарова [1].

2.2 Приклад розв'язання задач для визначення замульованості каналу

Задача. Встановити, чи буде розмиватися або замулюватися канал трапецеїдального поперечного перерізу при таких умовах:

а) ширина русла по дну $b = 1,4$ м, коефіцієнт закладення відкосів $m = 1,0$, кріплення дерен в стіну, витрата $Q = 0,88$ м³/с, течія тягне середньопіщані наноси, глибина течії $h = 0,8$ м;

б) $b = 0$; $m = 1,5$; $h = 1$ м, русло прорито в щільних лесовидних ґрунтах, $Q = 2,1$ м³/с, наноси – крупнопіщані;

в) $b = 1,2$ м; $m = 0$; $h = 0,9$ м; русло закріплено кладкою цегли на цементному розчині, наноси з середнім діаметром часток $d_{\text{ср}} = 0,4$ мм; $Q = 1,3$ м³/с.

Розв'язання задачі 2.1

а) 1. $\omega = (b + mh)h = (1,4 + 1,0 \cdot 0,8)0,8 = 1,76$ м².

2. $V = \frac{Q}{\omega} = \frac{0,88}{1,76} = 0,5$ м/с.

3. $V_{\text{доп}} = 2,5$ м/с.

4. У зв'язку з тим, що є характеристика наносів, визначаємо незамулюючі швидкості за В.Н. Гончаровим. $V_{\text{min}} = 0,6$ м/с.

5. Маємо визначену швидкість $V = 0,5$ м/с, яка менша ніж $V_{\text{min}} = 0,6$ м/с, при цьому буде йти замулювання каналу.

б) 1. Маємо трикутний переріз каналу

$$\omega = (b + mh)h = (0 + 1,5 \cdot 1)1 = 1,5 \text{ м}^2.$$

2. Швидкість у каналі

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{2,1}{1,5} = 1,4 \text{ м/с}.$$

3. Згідно [1] $V_{\text{доп}} = 1,0$ м/с.

4. Характеристику насосів визначаємо за [1] $V_{\text{min}} = 1$ м/с.

5. Маємо швидкість $V = 1,4$ м/с, яка більше за $V_{\text{доп}} = 1,0$ м/с і $V_{\text{min}} = 0,87$ м/с, при цьому буде йти розмивання русла.

в) Маємо прямокутний переріз каналу:

1) $\omega = (b + mh)h = (1,2 + 0 \cdot 0,9)0,9 = 1,08$ м²,

2) швидкість у каналі

$$V = \frac{Q}{\omega} = \frac{1,3}{1,08} = 1,2 \text{ м}^2/\text{с},$$

3) $V_{\text{доп}} = 1,9$ м/с,

4) маємо характеристику насосів

$$X = b + 2h\sqrt{1 + m^2} = 1,2 + 2 \cdot 0,9\sqrt{1 + 0^2} = 3,0 \text{ м}^2,$$

$$R = \frac{\omega}{X} = \frac{1,08}{3,0} = 0,3.$$

Знайдемо множник а $d_{\text{ср}} = 0,4$ мм, $a = 0,67$ м/с

$$V_{\min} = a\sqrt{R} = 0,67\sqrt{0,3} = 0,48 \text{ м/с}.$$

5. Швидкість води в каналі $V = 1,2$ м менша допустимої $V_{\text{доп}} = 1,9$ м/с, але більша мінімальної $V_{\min} = 0,48$ м/с. Можна сказати, що русло захищене від випадання мулу і розмивання.

2.3. Завдання для виконання практичної роботи

2.3.1. За даними табл. 2.1 визначити, чи захищене русло від замулювання (використовувати формулу 2.10)

Таблиця 2.1 – Дані для розрахунку

Показник	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коефіцієнт закладення відкосів, m	2	0	1	2	0	0	1	1	2	2
Ширина по дну, b	0	0,8	2	1,4	2,4	1,8	1,2	1,6	0,6	0,9
Середній діаметр часток завислих насосів, $d_{\text{ср}}$, мм	0,6	0,2	0,2	0,55	0,48	0,3	0,25	0,4	0,18	0,7
Висота, h	1	1,2	1,4	1,6	1,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Витрата води, Q , м ³ /с;	3,0	4,8	0,8	1,2	1,7	1,5	2,5	3,8	4,2	3,6

2.3.2. За даними таблиці 2.2 визначити глибину течії та захищеність русла від замулювання

Таблиця 2.2 – Дані для розрахунку до задачі 2.3.2

Показник	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поперечний переріз, w , м ²	2,5	3,6	3,8	4,2	2,4	2,2	2,1	1,8	3,2	3,4
Ширина по дну, b	1,6	1,0	0	1,2	1,8	2,2	1,4	2,0	1,1	0,8
Гідравлічна крупність насосів, w , мм/с	2	4	1,8	2,4	6	4,2	1,6	2,2	3,4	3,2
Швидкість течії, $V_{\text{ср}}$, м/с	2,0	0,4	1,5	2,2	1,8	1,6	1,2	0,8	0,6	0,4

2.4. Контрольні запитання

1. Які форми русел каналів існують?
2. Як склад наносів впливає на замуленість каналів?
3. Чи впливає тип ґрунту, де прорито канал чи русло на схильність до замуленості?
4. Які відмінності у визначенні схильності до замуленості у трапецеїдальних та прямокутних каналах?
5. Наведіть схему для обчислення елементів трапецеїдального, трикутного та прямокутного русел та їх схильності до замуленості.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3

Використання коефіцієнта Шезі при рівномірній течії в руслі

Мета: отримати навички знаходження коефіцієнта Шезі

3.1. Формула Шезі та формули для визначення коефіцієнта Шезі

При рівномірній течії витрата Q , глибина h , а також форма і розміри поперечного перерізу w є незмінними за довжиною течії [1–5]. Ухил вільної поверхні рідини J дорівнює ухилу дна русла i .

При розрахунках рівномірних турбулентних течій у відкритих руслах середню швидкість течії знаходимо за формулою Шезі:

$$V = c\sqrt{Ri}, \quad (3.1)$$

де V – середня швидкість, м/с; R – гідравлічний радіус, м; i – ухил дна русла; c – коефіцієнт Шезі, зв'язаний з коефіцієнтом гідравлічного тертя λ залежністю

$$c = \sqrt{8g / \lambda} \quad \lambda = 8g / c^2, \quad (3.2)$$

Більшість формул для визначення коефіцієнта Шезі є емпіричними, дійсними для руху води в означеному діапазоні швидкостей і гідравлічних радіусів.

1. Формула Н.Н. Павловського

$$c = \frac{I}{n} R^y, \quad (3.3)$$

де n – коефіцієнт шорсткості;

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \quad (3.4)$$

тобто показник y є функцією коефіцієнта шорсткості і гідравлічного радіуса:

$$y = f(R, n).$$

Наближено можна прийняти

$$\text{при } R < 1 \text{ м } y = 1,5\sqrt{n}, \quad (3.5)$$

$$\text{при } R > 1 \text{ м } y = 1,3\sqrt{n}. \quad (3.6)$$

У [1] наведенні значення коефіцієнта Шезі за формулою Павловського, а у [1] наведена монограма для гідравлічних розрахунків каналів за цією ж формулою.

2. При орієнтовних розрахунках використовують постійні значення y . Звичайно приймають $y = 1/6$ і отримують формулу Манінга:

$$c = \frac{1}{n} R^{1/6}. \quad (3.7)$$

Числові значення коефіцієнта шорсткості n у формулах Павловського і Манінга наведені в [1]

3. В останні роки з'явилися формули для визначення коефіцієнта Шезі, які діють для всіх однорідних ньютонівських рідин і у всій області турбулентного руху. До них відносять і формулу А.Д. Альдшуля:

$$c = 20 \lg \frac{R}{\varepsilon + 0,385\nu\sqrt{gRi}}, \quad (3.8)$$

де ε – наведена лінійна шорсткість; ν – кінематична в'язкість рідини; g – прискорення вільного падіння.

Для холодної води ($\nu = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$) формула (3.8)

$$c = 20 \lg \frac{R}{\varepsilon + 0,004 / \sqrt{gRi}}. \quad (3.9)$$

У формулі (3.9) R і ε – b мм; C – $b \text{ м}^{1/2}/\text{с}$.

Значення наведеної лінійної шорсткості ε у формулі (3.9) наведені в [1], там же наведені значення коефіцієнта Шезі, визначені за формулою (3.9).

При значеннях критерію зони турбулентності

$$\varepsilon\sqrt{Ri} \geq 0,04 \quad (3.10)$$

замість формули (3.9) використовують більш просту залежність

$$c = 20 \lg \frac{R}{\varepsilon}, \quad (3.11)$$

яка справедлива для шорстких русел, формула (3.11) для більшості важливих випадків дає результати, близькі до тих, які отримують з формули Павловського.

На рис. 3.1 наведена номограма для гідравлічного розрахунку трапецеїдальних каналів за формулою (3.11).

При дотриманні умов

$$\varepsilon\sqrt{Ri} \leq 0,0005 \quad (3.12)$$

замість формули (3.9) використовують залежність

$$c = 20 \lg R \sqrt{Ri} + 48, \quad (3.13)$$

яка дійсна для гідравлічно гладеньких русел.

Формулу (3.9) можна наближено виразити у вигляді

$$c = 25 \left(\frac{R}{K_{\Sigma} + 0,025 / \sqrt{Ri}} \right)^{1/6}, \quad (3.14)$$

де K_{Σ} і R – у мм; $c = y \text{ м}^{1/2}/\text{с}$.

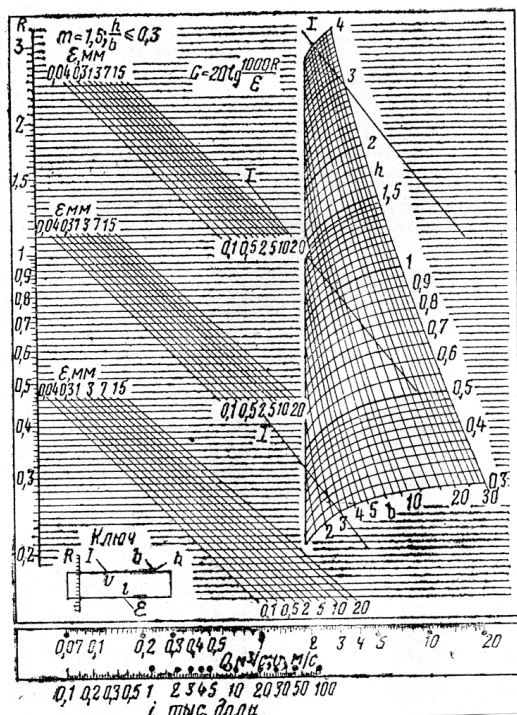


Рисунок 3.1 – Номограма для гідравлічного розрахунку трапецеїдальних каналів за формулою 3.11

3.2. Приклада розв'язання задач

Задача 3.1. Визначити витрату при рівномірному русі води в трапецеїдальному земляному каналі (суглинок), якщо ширина по дну $b = 5,5$ м, глибина $h = 1,8$ м, закладення відкосів $m = 1$ і ухил $i = 0,0004$.

Розв'язання:

Швидкість знаходимо за формулою Шезі:

$$V = c \sqrt{Ri}.$$

Площу живого перерізу знаходимо за формулою (2.1)

$$\omega = (b + mh)h = (5,5 + 1 \cdot 1,8)1,8 = 13,14 \text{ м}^2.$$

Змочений периметр за формулою (2.2)

$$X = b + 2h\sqrt{1+m^2} > 5,5 + 2 \cdot 1,8\sqrt{1+1^2} = 10,58 \text{ м.}$$

Гідравлічний радіус

$$R = \frac{\omega}{X} = \frac{13,14}{10,58} = 1,24 \text{ м.}$$

Визначаємо коефіцієнт c за формулою Павловського (2.13).
Коефіцієнт шорсткості $n = 0,025$ [1]. Оскільки $R = 1,25 \text{ м} > 1$

$$X = 1,3\sqrt{n} = 1,3\sqrt{0,025} = 0,206,$$

тоді значення K_{Σ} (а також коефіцієнта n) для деяких поверхонь [1]

При відсутності значень K_{Σ} для потрібної поверхні використовують наближену залежність

$$K_{\Sigma} = (80n)^6. \quad (3.15)$$

Основні залежності для розрахунків каналів:

- витрата води

$$Q = \omega c \sqrt{Ri}; \quad (3.16)$$

- ухил і падіння за довжиною l (втрати напору визначають за формулами)

$$i = \frac{V^2}{c^2 R} = \frac{Q^2}{\omega^2 c^2 R} = \frac{Q^2}{K^2}; \quad (3.17)$$

$$\Delta Z = il = \frac{Q^2}{\omega^2 c^2 R} l = \frac{Q^2}{K^2} l; \quad (3.18)$$

- витратна характеристика (модуль витрати)

$$K = \omega c \sqrt{R} = \frac{Q}{\sqrt{i}}; \quad (3.19)$$

- швидкісна характеристика (модуль швидкості)

$$W = c \sqrt{R} = \frac{V}{\sqrt{i}}; \quad (3.20)$$

- мінімальна незамулююча швидкість за формулою

$$V_{\min} = 0,5\sqrt{R}, \quad (3.21)$$

де R – гідравлічний радіус, м;

• максимальна нерозмиваюча швидкість визначається за формулою Л.Л. Леві:

$$V_{\max} = 3\sqrt{gd} \lg \frac{R}{7d}, \quad (3.22)$$

де d середній діаметр частки, з якої складається русло.

Значення нерозмиваючої швидкості наведені в [1].

Для річок, що формують русло в піщано-гравійному ложі, коефіцієнт Шезі знаходимо за формулою

$$c = \frac{14,8}{i^{1/6}}, \quad (3.33)$$

$$c = 1/n; R^y = 1/0,025 \cdot 1,24^{0,206} = 41,8 \text{ м}^{1/2}/\text{с};$$

швидкість

$$V = c\sqrt{Ri} = 41,8\sqrt{1,24 \cdot 0,0004} = 0,93 \text{ м/с}.$$

Порівняємо отриману швидкість з максимальною нерозмиваючою середньою швидкістю і найменшою допустимою незамулюючою швидкістю. Згідно [1] швидкість при глибині $h = 1,8 \text{ м}$, $V_{\max} = 1,2 \text{ м/с}$. Другу визначаємо за формулою $V_{\min} = 0,5 \sqrt{R}$

$$V_{\min} = 0,5\sqrt{1,24} = 0,56 \text{ м/с},$$

$0,56 \text{ м/с} < 0,93 \text{ м/с} < 1,2 \text{ м/с}$ маємо зробити висновок, що канал ні розмиву, ні замулюванню не підлягає.

Задача 3.2. Водопровідний і озалізнений канал прямокутного перерізу має ширину $b=2\text{м}$ і ухил дна $i = 0,0001$. Яка буде витрата Q при наповненні $h = 2,4 \text{ м}$?

Розв'язання:

Витрату води знаходимо за формулою

$$Q = \omega c \sqrt{Ri}.$$

Гідравлічний радіус

$$R = \frac{\omega}{X} = \frac{2 \cdot 2,4}{2 + 2,4} = 0,705 \text{ м}.$$

Визначаємо коефіцієнт C за формулою (3.9). Значення наведеної лінійної шорсткості беремо по [1] $\Sigma = 0,02$:

$$c = 201g \frac{R}{\varepsilon + 0,004 / \sqrt{Ri}} = 201g \frac{705}{0,02 + \frac{0,004}{\sqrt{705 \times 0,0001}}} = 86,6 \text{ м/с}.$$

Витрата води

$$Q = 2 \cdot 2,4 \cdot 86,6 \sqrt{0,705 \cdot 0,0001} = 3,49 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3.3. Завдання для виконання практичної роботи

а) За даними табл. 3.1 визначити витрату при рівномірному русі води в трапецеїдальному каналі.

б) За даними табл. 3.2 визначити витрату Q при наповненні h для прямокутного водопровідного каналу, який обкладено залізними листами.

3.4. Контрольні запитання

1. За якої умови використовується формула Шезі?
2. В чому полягає складність у визначенні коефіцієнта Шезі?
3. Від чого насамперед залежить коефіцієнт Шезі?
4. Які дані необхідні для емпіричного визначення коефіцієнта Шезі?
5. Якщо відомий коефіцієнт Шезі, які характеристики гідрологічного об'єкту можна визначити?

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку витрати води при рівномірному русі води в трапецеїдальному каналі

№ п\п	Ширина по дну, b , м	Глибина, h , м	Закладення відкосів, m	Ухил, i	Тип основного ґрунту
1	5,8	1,6	1,0	0,00042	сірий підзолістий
2	6,2	2,4	1,1	0,00038	
3	8,4	2,6	1,05	0,00032	
4	3,2	3,0	1,2	0,00030	
5	1,8	1,2	1,08	0,00028	
6	4,8	1,4	1,12	0,00041	пісчаний
7	6,7	1,8	1,14	0,00034	
8	10,2	3,2	1,09	0,00033	
9	18,0	1,2	1,1	0,00029	
10	12,4	1,8	1,06	0,00046	

Таблиця 3.2 – Дані для розрахунку витрати води при рівномірному русі води в прямокутному каналі

№ п\п	Ширина по дну, b , м	Глибина заповнення, h , м	Ухил, i
1	2,5	2,4	0,0001
2	2,8	2,8	0,00015
3	3,2	1,8	0,0002
4	3,4	2,2	0,00024
5	5,2	2,0	0,00018
6	4,8	3,5	0,00034
7	6	4,2	0,00032
8	1,8	1,6	0,00012
9	1,4	1,0	0,0001
10	2,0	1,8	0,00018

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаров В.Н. Динамика руслових потоків / В.Н. Гончаров. – Л., ГИМИЗ, 1962. – 336 с.
2. Большаков В.А. Гидравлика. Общий курс / В.А. Большаков, В.Н. Попов – Киев : Вища школа. – 1989. – 214 с.
3. Шевченко Т.О. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерна гідравліка» / Т.О. Шевченко, М.М. Яковенко. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 90 с.
4. Барышников Н.Б. Гидравлические сопротивления речных русел : учеб. пособ. / Н.Б. Барышников – СПб. : изд. РГГМУ. – 2003. – 147 с.
5. Кравцов А.М. Гидравлика. Гидравлика открытых русел и сооружений : практикум / А.М. Кравцов, В.С. Лахмаков – Минск: БГАТУ. – 2009. – 124 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Практичне заняття 1	
Аналітичні способи визначення витрати води у водних об'єктах	4
Практичне заняття 2	
Визначення захищеності русла водних об'єктів від замулюваності.....	13
Практичне заняття 3	
Використання коефіцієнта Шезі при рівномірній течії в руслі.....	19
Список літератури.....	25

Навчальне видання

Методичні вказівки до практичних робіт з курсу «Гідрологія»
для студентів спеціальності 101.01 «Техніка захисту навколишнього
середовища» всіх форм навчання, в тому числі іноземних студентів

Українською мовою

Укладач: ТИХОМИРОВА Тетяна Сергіївна

Відповідальний за випуск проф. В.П. Шапорев
Роботу до видання рекомендував проф. М.Г. Зінченко

В авторській редакції

План 2018 р., поз.

Підп. до друку 12.02.2018 р. Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк.

Наклад 100 прим. Зам. № Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.

61001, Харків, вул. Багалія, 2

Друкарня «Мадрид»

61002, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11. оф. 5